

## 自律的ネットワーク運用のための管理知識の利用手法に関する研究

著者	谷村 優介
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	87
号	1
ページ	50-53
発行年	2018-08
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/00123433">http://hdl.handle.net/10097/00123433</a>

博士学位論文要約（平成30年3月）

## 自律的ネットワーク運用のための管理知識の利用手法に関する研究

谷村 優介

指導教員：木下 哲男

Utilization Method of Management Knowledge  
for Autonomic Network Operation

Yusuke TANIMURA

Supervisor: Tetsuo KINOSHITA

In the field of network and systems management, technology for autonomic network operation is expected to be realized, and various attempts are made to enlarge the scope of automation of management tasks. One of the promising approach for autonomic network operation is Knowledge-based Network Management System (KNMS), which works autonomously based on management knowledge provided by expert administrators. Management knowledge is a key component of KNMSs, which concerns the effectiveness and applicability of the system. Therefore, a reliable technique for knowledge management should be established for the KNMS adequate for practical use. In this research, a novel utilization method of management knowledge is proposed to develop more practical KNMSs.

## 1. はじめに

情報通信技術（Information and Communication Technology: ICT）のさらなる普及と進展により、新たな ICT サービスの創出やサービス利用者・提供者の増加が期待されている。ICT サービスを安定的かつ継続的に提供するためには、サービスを提供するために必要な計算資源やネットワーク機能から構成されるネットワークシステムを円滑に管理する必要がある。しかし、ネットワークシステムの円滑な管理には、計算機器やネットワーク機器に関する豊富な知識と管理経験が要求される。また、ネットワークシステムの運用管理を行うネットワーク管理者の人材不足は以前より問題となっており、今後の ICT サービスの進展に際しても、解決しなければならない課題である。

ネットワークシステムの運用管理を支援するためのしくみとして、ネットワーク管理システム（Network Management System: NMS）に関する取り組みが行われてきた。本研究ではその中でも特に、熟練した管理者が経験的に得た管理知識を NMS に付与することで、より知的な管理支援機能、および、自律的なネットワーク運用の実現を目指す、知識型ネットワーク管理システム（Knowledge-based NMS: KNMS）に焦点を当てる。KNMS は人間の管理者から与えられた管理知識に基づき、自律的にネットワークシステムの状態を分析し、具体的な運用方針を策定するなど、熟練した管理者と同様にふるまい、高度な管理支援の提供、さらに、初級管理者の知識と経験を補い、管理業務への参加を促すことが期待されている<sup>1)</sup>。

自律的なネットワーク運用の実現を目指す KNMS に関する取り組みにおいて、管理知識は KNMS の自律性を司る最も重要な構成要素であるため、適切な管理知識の獲得・表現や利用方法を工夫する必要がある。すなわち、KNMS を有効に活用するためには、管理対象とするネットワークシステムのハードウェア・ソフトウェア構成に適した管理知識を、いかに KNMS に与えるかということが問題となる。ネットワークシステムの構成が変化した場合には、構成の変化に合わせて新しい管理知識の追加や既存の管理知識の修正が必要となるが、このような管理知識の蓄積を支える知識ベースの更新作業は容易ではない。ゆえに、これまでの KNMS に関する取り組みでは、知識ベースの更新が頻繁に発生しないようなネットワークシステム、例えば、サービス構築後に構成の変化しないネットワークシステムや、サービス運用開始後にどのように構成が変化するかを事前に把握可能なネットワークシステムへの適用を前提としており、当該システムの適用範囲も限定的な範囲に留まっていた。本研究はこのような管理知識の利活用に関する課題を解決することで、柔軟性・迅速性の高い ICT サービスの運用管理にも適用可能な、より実用性の高い KNMS の実現を目指すものである。

## 2. 知識型ネットワーク管理システムの現状と課題

KNMS に関する従来の取り組みについて、本研究では特に、ICT サービスの運用フェーズにおける管理者の主なタスクである、自律的な障害管理と性能管理に焦点を当て、課題を分析・整理する。

障害管理の自律的を目指す KNMS は、管理知識として発生した障害を分析し原因を特定するための知識、そして、障害復旧のためにとるべき対策を定めるための知識を、ルールや事例といった形式で知識ベースに蓄積する。このような KNMS が有効に機能するためには、知識ベース内の管理知識の整合性がとれていることが前提である。運用中のネットワークシステムの構成が変化した場合には、新たな管理知識の追加や既存の管理知識の修正が必要となるが、この作業に際して知識ベース内の知識構成に細心の注意を払う必要があるため、知識ベース内の知識構成を熟知している者でなければ、更新作業を行うことができず、また、作業に伴う作業負担・心的負担も無視できない。さらに、KNMS の運用の過程で知識ベースに保有する知識の数が増大した場合、知識ベースの更新はさらに難しいものとなる。ゆえに、これまでの KNMS による障害管理の自律化に関する取り組みでは、知識ベース更新の必要のない固定的なネットワークシステムを適用対象としていた。よって、「(P1) 知識ベース内の知識構成を熟知していなければ、新たな管理知識の追加や変更が困難」という課題は、自律的な障害管理のための KNMS の実現に向けて解決する必要がある。

性能管理の自律化を目指す KNMS は、管理知識としてサービスの運用状態を捉えるための知識、そして、サービスの安定状態を保つためにとるべき行動を与えるための知識をもつ。多くの KNMS では、サービスの運用状態の判断、そして、サービスの安定状態を維持するために制御操作を施すタイミングの判断に際して、ベンチマークや理論解析などにより事前に得た管理対象ネットワークシステムの詳細な動作特性を必要とする。サービスの安定状態の維持、特に、正常状態から過負荷状態への遷移を捉えるためには、高負荷時の動作特性に関する知識を必要とするが、ネットワークシステムの動作特性はハードウェア・ソフトウェアの構成・設定など、多様な要因で変化する。ゆえに、サービス運用開始後に構成が変化するネットワークシステムにおいては、構成が変化する度にシステムの動作特性を計測し直す必要があるが、動作特性の取得に要する手間と時間を考慮すると、これは実運用上困難である。よって、「(P2) 動作特性に関する事前知識がなければ、ネットワークシステムの運用状態を把握することは困難」という課題は、自律的な性能管理のための KNMS の実現に向けて解決する必要がある。

### 3. 知識型ネットワーク管理システムによる自律的な障害管理

本章では、自律的な障害管理の実現を目指す KNMS に関する課題である、(P1) の解決に向け、「(S1) モジュール化に基づくサービス指向型の知識

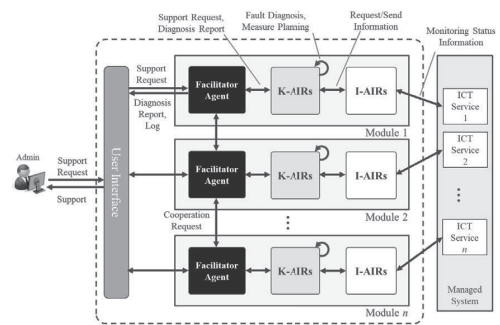


図 1: 提案に基づく KNMS の概要

管理法」を提案する。本提案では、ネットワークシステムの構成を、ICT サービスを提供するための機能要素の集合として捉え、管理知識を任意のまとまりでモジュール化する。本提案の狙いは、知識ベースをサービス毎に分割し、個別に管理可能とすることで、その管理性の向上を図ることにある。管理知識を含むモジュールを追加・変更することで、システム構成の変化の原因となった ICT サービスに着目した、部分的な知識ベースの更新を容易に行うことが可能となる。ゆえに、本提案に基づく KNMS では、知識ベース内の知識構成を全て把握していない管理者であっても、知識ベースの更新が可能となる。ここで、KNMS のモジュール化、すなわち、知識の分割管理に際して、ソフトウェアエージェントのもつ自律性・社会性が本提案の実現に有用であると考え、本提案ではマルチエージェント型の KNMS に関する先行研究<sup>2)</sup>(Active Information Resource based NMS: AIR-NMS)を拡張する。

図 1 に本提案に基づく KNMS の概要を示す。各モジュールはエージェント化された管理知識である Knowledge-AIR (K-AIR) 群、そしてエージェント化されたネットワークシステムの機器情報である Information-AIR (I-AIR) 群、そして、後述する Facilitator-Agent から構成される。提案システムでは、管理知識をサービス毎に分割して管理することで、知識の整合性を考慮すべき範囲を各サービスのモジュール内に限定する。これにより、他のサービスに関する知識と独立した知識記述が可能となる。

しかしながら、実際のサービス運用環境において、ネットワークシステムの構成を機能要素の重複なく、それぞれ独立したサービスとして切り分けることは困難である。これは、データベースや認証系の機能など、複数のサービスに属することで利便性を発揮する機能があるためである。機能要素の重複、すなわち、サービス間の依存関係を全て考慮してサービスを切り分けようとした場合、モジュールの肥大化を引き起こし、モジュール化の利点が失われること

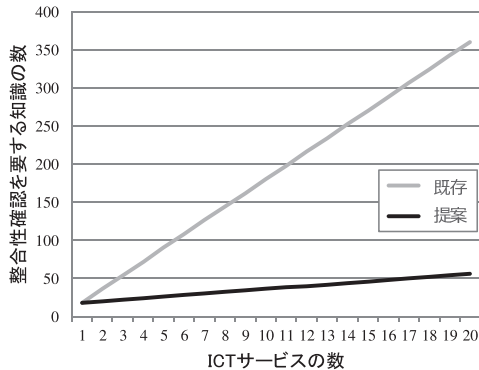


図 2: 知識の追加に関するシミュレーション実験

が考えられる。そこで、限定的にモジュール間で管理知識の連携を可能とし、サービス間の依存関係を許容するとともに、モジュール化の利点を維持するため、Facilitator-Agentを導入する。

Facilitator-Agent はいわば各モジュールの窓口となるエージェントであり、モジュール内に存在する管理知識のメタデータを収集する機能とモジュール間の管理知識の連携を検証する機能をもつ。サービス間の依存関係に起因する障害が発生した場合には、Facilitator-Agent によって事前に管理知識の連携を検証した上で、問題が無いと判断された場合のみ、モジュール間で管理知識を連携させることで、依存関係のあるサービスに起因する障害解決タスクの完遂を可能とする。

本提案の有効性を検証するため、試作システムを設計・実装し、実験を行った。図2に試作システムに基づくシミュレーション実験の結果を示す。シミュレーション実験では、知識の整合性確認に係る管理者負担の大きさを、新たなサービス追加に伴う知識の追加時に、整合性確認を要する知識の数として表現し、先行研究に基づくシステムとの比較を行った。実験結果より、提案システムではモジュール化の効果により、サービス数が増加した場合でも、既存システムと比較して大きく管理者負担が抑制されることを確認した。これより、課題(P1)が解決可能であることを示し、本提案がKNMSによる自律的な障害管理の実現に貢献可能であることを示した。

#### 4. 知識型ネットワーク管理システムによる自律的な性能管理

本章では、自律的な性能管理の実現を目指すKNMSに関する課題である(P2)の解決を目指し、「(S2) 巨視的な観点に基づくネットワークシステムの内部状態の観測法」を提案する。ここでは、先行研究<sup>3)</sup>で得られた知見をもとに、ネットワークシステムの巨視的なふるまいを表す「活動度」に含

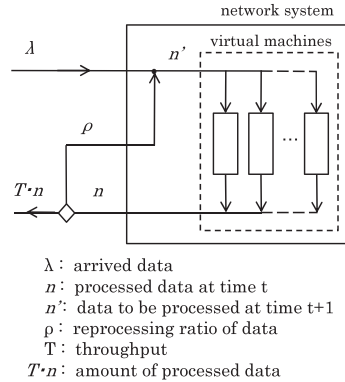


図 3: 変動するネットワークシステムのモデル

まれるゆらぎ成分に着目し、ネットワークシステムの動作モデルを用いたゆらぎ特性の理論解析に基づいて、「活動度のゆらぎの分散」を、ネットワークシステムの運用状態を捉えるための指標として提案する。本指標は変動する動作特性に強く依存しないため、ネットワークシステムの運用状態の観測に向け、より汎用的な管理知識の記述が可能となる。

まず、多数のハードウェア・ソフトウェアによって構成されるネットワークシステムを、図3のようにモデル化する。ここで巨視的な観点、すなわち、ネットワークシステムへの入出力に着目したとき、本モデルは単一窓口の待ち行列モデルと見なすことができる。次に、モデルに基づいてシステムのふるまいを状態遷移方程式として記述し、活動度のゆらぎ成分についてその特性を解析すると、図4に示すような性質が得られる。すなわち、ネットワークシステムが正常状態から過負荷状態へ遷移しつつあるとき、提案指標が急激に増大することが分かる。したがって、本指標の急激な増大を観測した場合に、計算資源の追加や内部設定の変更など、過負荷状態を回避するための制御操作を施すことで、サービスを安定的に維持することが可能となる。

提案指標の特性を検証するため、実験用ネットワークシステムを構築し、検証実験を行った。本実験では、ネットワークシステム上で稼働するサービスとして、データベースと連動して動的にWebページを生成するWebアプリケーションを使用した。ネットワークシステムの活動度の時間的な推移を観測するため、単位時間あたりのHTTPリクエスト数を調整しながら、ネットワークシステムに負荷を与えた。ここで、ネットワークシステムの活動度は単位時間あたりに処理されるリクエストの量を表すtransfer rateにより観測される。実験結果より、提案指標が実システムにおいても図4に示すような特性をもつことを確認した。

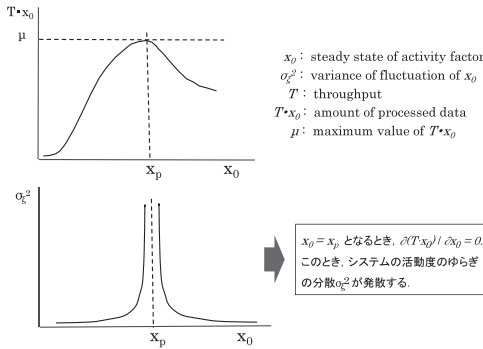


図4: 理論解析に基づく提案指標の特性

さらに、提案指標の適用可能性を検証するため、提案指標に基づいて、ネットワークシステムが過負荷状態に陥りつつある状態を検出しアラームを発する機能を試作した。詳細な動作特性を使用せず、提案指標により制御操作（計算資源の追加）を施すタイミングを的確に判断し、サービスを安定的に維持できるかを検証する。図5に実験結果を示す。図5(a)に示すとおり、本実験ではネットワークシステムへの負荷の大きさは時間的に増大し続けた。一方で、図5(b)より、transfer rateが0付近まで低下する過負荷状態は発生しなかったことが確認できる。また、1600s付近および3600s付近に見られるtransfer rateの上昇は、制御操作によりシステムの性能が向上したことに起因する。図5(c)より、1600s付近および3600s付近において、ゆらぎの分散の増大を受けてアラームが生成されたことが確認できる。さらに、アラームを受けて制御操作を施したことで、ネットワークシステムが安定的に動作するようになり、ゆらぎの分散が0付近に減少したことも確認できる。以上より、提案指標に基づいてネットワークシステムの運用状態を捉えることで、サービスを安定的に運用可能であることを示した。これより、課題（P2）が解決可能であることを示し、本提案がKNMSによる自律的な性能管理の実現に貢献可能であることを示した。

## 5. まとめ

本研究では自律的なネットワークシステムの運用管理の実現を目指し、KNMSの管理知識の利活用に関する課題を分析し、その課題の解決を図った。すなわち本論文はKNMSの管理性を改善することでその適用範囲を拡大し、自律的なネットワーク運用の実現に係る新しい手法を提案したものである。今後はサービス自動構築技術との連携による、ネットワークシステムのライフサイクルを通した、包括的な管理者支援の実現が期待される。

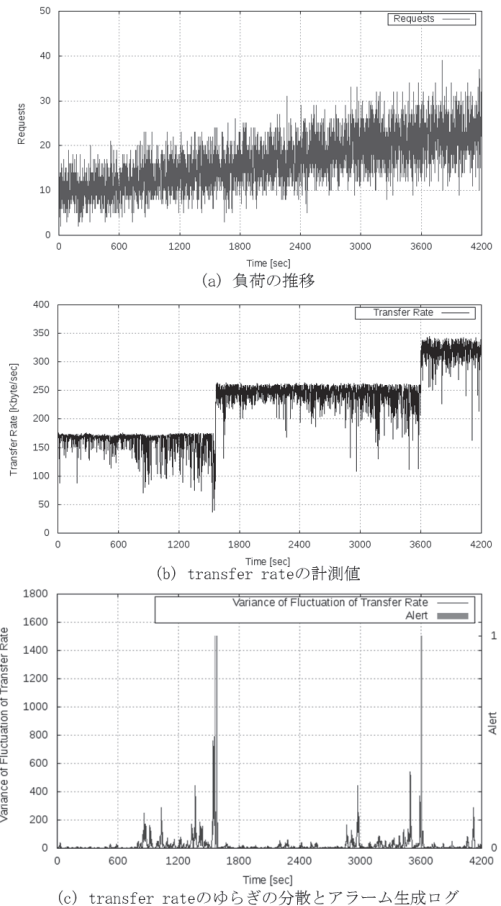


図5: 提案指標に基づく過負荷状態の回避

## 文献

- 1) Z. Movahedi, M. Ayari, R. Langar, and G. Pujolle, "A Survey of Autonomic Network Architectures and Evaluation Criteria," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 14, no. 2, pp. 464–490, 2012.
- 2) K. Sasai, J. Sveholm, G. Kitagata, and T. Kinoshita, "A Practical Design and Implementation of Active Information Resource based Network Management System," *International Journal of Energy, Information and Communications*, vol. 2, no. 4, pp. 67–86, 2011.
- 3) T. Kinoshita, "Basic Characteristics of a Macroscopic Measure for Detecting Abnormal Changes in a Multiagent System," *Sensors*, vol. 15, no. 4, pp. 9112–9135, 2015.